

УДК 612.233: 612.5.05

DOI: 10.33396/1728-0869-2019-9-41-49

## ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕСТРОЕК КАРДИОГЕМОДИНАМИКИ И ГАЗООБМЕНА В ОТВЕТ НА ПРОБУ С РЕРЕСПИРАЦИЕЙ У ЮНОШЕЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ АДАПТАЦИИ К УСЛОВИЯМ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2019 г. И. В. Аверьянова

ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук» (НИЦ «Арктика» ДВО РАН), г. Магадан

*Цель* данного исследования – выявить особенности перестроек показателей сердечно-сосудистой системы и газообмена в ответ на пробу с возвратным дыханием у молодых жителей при различных сроках адаптации к условиям Северо-Востока России. *Методы.* В исследованиях приняли участие 222 юноши: 31 испытуемый представлял нулевое поколение (мигранты), 73 – первое поколение укорененных жителей из числа европеоидов, 86 – второе поколение, и 32 обследованных относились к аборигенному населению Магаданской области. У юношей изучали основные показатели сердечно-сосудистой системы, вариабельности сердечного ритма и газообмена в состоянии покоя и на пике пробы с ререспирацией. *Результаты:* проведенные исследования показали, что процесс срочной адаптации в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие происходит путем перестроек сердечно-сосудистой системы, показателей кардиоритма и газоанализа, имеющих ряд различий в зависимости от срока проживания в условиях исследуемого региона. *Заключение.* Установлено что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газообмена при анализе разницы фон – проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям Северо-Востока России, а также физиологическими критериями этнической принадлежности. При этом наиболее специфичными, отражающими различия в перестройках изучаемых систем в ответ на ререспирацию у испытуемых четырех групп являются показатели  $\Delta\text{CO}_2$ ,  $\Delta\text{O}_2$  а также спектральные характеристики кардиоритма как в состоянии покоя, так и на пике пробы с возвратным дыханием.

**Ключевые слова:** юноши, показатели вариабельности сердечного ритма, показатели сердечно-сосудистой системы, показатели газоанализа, проба с возвратным дыханием

## SPECIAL ASPECTS OF CARDIAC HEMODYNAMIC CHANGES AND VENTILATION IN RESPONSE TO REBREATHING TEST IN YOUNG MALES HAVING DIFFERENT TERMS OF ADAPTATION TO RUSSIA'S NORTHEAST CONDITIONS

I. V. Averyanova

Scientific Research Center "Arktika", Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (SRC "Arktika" FEB RAS), Magadan, Russia

The *aim* of the study was to reveal the changes occurred in the cardiovascular system, ventilation, and heart rate in response to a rebreathing test in young male residents having different periods of adaptation to the conditions of the northeast of Russia. *Methods:* 222 young men took part in the study: 31 - representatives of the 0<sup>th</sup> generation, 73 - belonged to the 1<sup>st</sup> generation, 86 - representatives of the 2<sup>nd</sup> generation and 32 - indigenous people of Magadan Region. The basic parameters of cardiovascular system, heart rate variability and ventilation at rest and at the peak of the rebreathing test were studied. *Results:* The studies have shown that the process of urgent adaptation in response to hypoxic-hypercapnic effect occurs through alternation of the cardiovascular system as well as changes in heart rate and ventilation indicators. These changes have a number of differences depending on the period of residence in the northeast of Russia. *Conclusions:* It is found that the main characteristics of the cardiovascular system, arterial blood saturation and to greater extent ventilation when analyzing background-test difference, can serve as indicators of the adaptation degree to the conditions of the northeast of Russia as well as physiological criteria of ethnicity. However the most specific, reflecting the differences in the reconstructions of the studied systems in response to rebreathing in the subjects of the four groups are  $\Delta\text{CO}_2$ ,  $\Delta\text{O}_2$  as well as spectral characteristics of the heart rate, both at rest and at the peak of the test with recurrent respiration.

**Key words:** young men, heart rate variability indices, cardiovascular indices, ventilation indicators, rebreathing test

### Библиографическая ссылка:

Аверьянова И. В. Особенности перестроек кардиогемодинамики и газообмена в ответ на пробу с ререспирацией у юношей при различных сроках адаптации к условиям Северо-Востока России // Экология человека. 2019. № 9. С. 41–49.

Averyanova I. V. Special Aspects of Cardiac Hemodynamic Changes and Ventilation in Response to Rebreathing Test in Young Males Having Different Terms of Adaptation to Russia's Northeast Conditions. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 9, pp. 41-49.

В последние годы для определения уровня функциональных возможностей организма активно изучается динамика вариабельности ритма сердца, сердечно-сосудистой системы при различных функциональных тестах [7, 9]. Показано, что в процессе индивидуальной адаптации к условиям окружающей среды происходит перенастройка активности отделов вегетативной нервной системы (ВНС), которая влияет на показатели

газообмена, гемодинамики и соответственно на интенсивность процессов связывания кислорода в легких и тканях, что является доказательством их эффективной взаимосвязи с функциональным состоянием ВНС [15].

В настоящее время на территории Магаданской области сформировались популяции уроженцев 1–2-го поколений укорененных жителей из числа европеоидов, родители которых (мигранты, 0-е поколение) прибыли

на северо-восток России в 1940–1960-х годах, где у них родились дети (1-е поколение), которые, в свою очередь, дали начало следующим поколениям (2-е поколение), постоянно там проживающим [1]. Также в данный момент в Магаданской области проживает популяция аборигенного населения Севера, сохранившая черты традиционного образа жизни, считающаяся наиболее адаптированной к северным условиям и которая, в свою очередь, может рассматриваться как «природная модель» или как некий «эталон» приспособления к местным геоклиматическим условиям [8, 16]. Результаты многолетних фундаментальных исследований [2, 8] свидетельствуют о существовании этнических различий по ряду биологических характеристик, что является основанием для предположения об особенностях функциональных резервов организма обследуемых лиц из числа европеоидов и аборигенов уроженцев Севера. В связи с этим изучение функциональных резервов организма на основе перестроек показателей variability сердечного ритма, артериального давления, газоанализа в состоянии покоя и на пике гипоксически-гиперкапнического воздействия у лиц, различающихся по срокам проживания в условиях северо-востока России, является удобной моделью для анализа глубоких механизмов вегетативного обеспечения регуляции газообмена и кардиореспираторной системы при адаптации к северным условиям. Необходимо отметить, что результаты данного анализа могут быть полезными для научного обоснования критериев адаптированности к экстремальным климатогеографическим условиям субарктического региона нашей страны.

Механизмы компенсации умеренных форм гипоксии, гиперкапнии или их комбинации в здоровом организме имеют определенное приспособительное значение в формировании адаптационных реакций, направленных на повышение устойчивости организма к целому комплексу экстремальных факторов [3]. По мнению С. Г. Кривошекова с соавт. [12], исследование характера системных ответов кардиореспираторной системы на гипоксическое и/или гиперкапническое воздействие имеет важное прогностическое значение для оценки функциональных резервов организма человека. При этом изучение специфики функциональных ответов различных систем организма на измененную газовую среду имеет важное значение при оценке стратегий и возможностей адаптации человека [6, 12].

Исходя из вышесказанного, целью данной работы явилось изучение перестроек показателей гемодинамики, газоанализа и характеристик variability сердечного ритма в ответ на пробу с респирацией у юношей-вагонормотоников с различными периодами проживания в условиях Северо-Востока России.

#### Методы

Всего были обследованы 222 юноши, из которых 31 испытуемый являлся представителем 0-го поколения, 73 — 1-го поколения, 86 — 2-го поколения и 32 обследуемых относились к аборигенному населению Магаданской области.

В качестве функциональной нагрузки использовалась проба с респирацией без поглощения  $\text{CO}_2$ . До проведения пробы с помощью портативного газоанализатора производства ООО «НПК «Карбоник» определялось у каждого обследуемого долевое содержание  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в выдыхаемом им воздухе. Для проведения респирации испытуемому предлагалось совершить три глубоких выдоха в герметичный пластиковый мешок (типа Дугласа), откуда в дальнейшем производился процесс вдоха и выдоха, общей продолжительностью 3 мин, при этом нос закрывался зажимом [13]. После завершения респирации оставшаяся в мешке воздушная газовая смесь анализировалась с помощью того же прибора по уровню долевого содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ .

До пробы с респирацией и в процессе ее 3-минутного выполнения с помощью прибора «Варикард» и программного обеспечения VARICARD-KARDi [11] производилась запись кардиоритмограммы с учетом методических рекомендаций группы Российских экспертов [4]. В дальнейшем анализировались следующие показатели variability сердечного ритма (BCP): частота сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин); мода ( $M_0$ , мс) — наиболее часто встречающееся значение R-R интервала; разность между максимальным и минимальным значениями кардиоинтервалов ( $MxDMn$ , мс); квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов ( $RMSSD$ , мс); число пар кардиоинтервалов с разницей более 50 мс в % к общему числу кардиоинтервалов ( $pNN50$ , мс); стандартное отклонение полного массива кардиоинтервалов ( $SDNN$ , мс); амплитуда моды при ширине класса 50 мс ( $AMo50$  %, мс); индекс напряжения регуляторных систем (SI, усл. ед.); индекс централизации (IC, усл. ед.); суммарная мощность спектра сердечного ритма (TP,  $\text{мс}^2$ ), мощность спектра высокочастотного компонента BCP в диапазоне 0.4–0.15 гц (дыхательные волны) (HF,  $\text{мс}^2$ ); мощность спектра низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0.15–0.04 гц (LF,  $\text{мс}^2$ ); мощность спектра очень низкочастотного компонента BCP в диапазоне 0.04–0.015 гц (VLF,  $\text{мс}^2$ ).

Тип исходного вегетативного тонуса определяли на основании значений следующих показателей:  $MxDMn$ , SI, TP, где диапазон эйтонии для  $MxDMn$  мы учитывали равным от 200 до 300 мс, для SI — от 70 до 140 усл. ед., для TP — от 1 000 до 2 000  $\text{мс}^2$  [14]. Если исследуемые показатели  $MxDMn$  и TP находились ниже данных диапазонов, то вегетативный баланс был оценен как симпатотонический, при повышении величин данного коридора — как ваготонический. Напротив, при значениях показателей SI более 140 усл. ед. (с учетом двух других показателей) вегетативный баланс оценивался как симпатотонический, а при значениях менее 70 усл. ед. — как ваготонический. В связи с немногочисленностью в выборке симпатотоников функциональные показатели юношей данного типа в этой серии исследований не анализировались. В выборку для статистического анализа включались

лица с вагонормотоническим (ваготоники и нормотоники) типом вегетативной регуляции.

Показатели артериального давления регистрировались автоматическим тонометром Nesei DS-1862 (Япония) на фоне и пике пробы (конец 3-й минуты), в эти же периоды, с использованием пульсоксиметра «NPВ-40» (США) измерялся доленой уровень оксигемоглобина (НbO<sub>2</sub>). Все обследования осуществлялось в помещении с комфортной температурой 19–21 °С в первой половине дня.

Для исследований допускались только юноши, у которых жизненная емкость легких (ЖЕЛ) была не менее 3 200 мл и отсутствовали хронические заболевания в стадии обострения и жалобы на состояние здоровья, что и являлось непосредственным критерием включения в исследования. Исследование было выполнено в соответствии с принципами Хельсинкской декларации. Протокол исследования был одобрен Этическим комитетом медико-биологических исследований при СВНИЦ ДВО РАН (№ 004/013 от 10.12.2013). До включения в исследование у всех участников было получено письменное информированное согласие.

Результаты подвергнуты статистической обработке с применением пакета прикладных программ Statistica 7.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась на основе теста Шапиро – Уилка. Результаты непараметрических методов обработки представлены в виде медианы (Me) и интерквартильного размаха в виде 25 и 75 перцентилей, а параметрических, как среднее значение и его ошибка ( $M \pm m$ ). Статистическая значимость различий определялась с помощью t-критерия Стьюдента для зависимых выборок с нормальным распределением и непараметрического критерия Уилконсона для выборок с ненормальным распределением. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным или меньше 0.05 [5].

**Результаты**

В табл. 1 приведены основные показатели сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови, концентрации углекислого газа и кислорода в выдыхаемом воздухе в состоянии покоя, а также на пике выполнения пробы с возвратным дыханием у юношей с различными периодом проживания на территории Магаданской области. Полученные результаты указывают на то, что в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов отмечается снижение артериального давления и частоты сердечных сокращения в состоянии покоя. Самые низкие показатели концентрации углекислого газа и самые высокие концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе в состоянии покоя были характерны юношам 0-го поколения. Тогда как, напротив, статистически значимо более высокие показатели концентрации CO<sub>2</sub> в покое на фоне значимо более низких величин концентрации O<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе были зафиксированы в группе представителей 1-го, 2-го поколений и у юношей из числа аборигенного населения области. Межгрупповых различий по показателям сатурации артериальной крови в состоянии покоя выявлено не было.

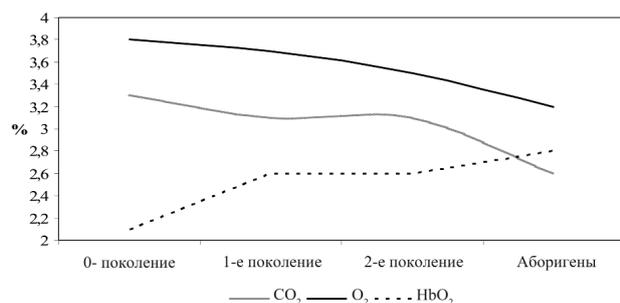
Сравнительный анализ показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа и сатурации артериальной крови на пике выполнения пробы с ререспирацией также выявил ряд межгрупповых различий. Так, на пике пробы мы не выявили отличий относительно показателей систолического и диастолического давления (САД и ДАД), что обусловлено отсутствием динамики САД у испытуемых 1-й группы, а также различной степенью ответной реакции ДАД на ререспирацию, имеющей более выраженную динамику в группе аборигенов. В ответ на пробу с ререспирацией происходит значимое увеличение концентрации углекислого газа и снижение концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе, в большей степени выраженное в группе

Таблица 1

**Показатели сердечно-сосудистой системы, оксигенации и газоанализа в состоянии фона и на пике ререспирации у юношей вагонормотоников с различными периодами проживания в условиях Северо-Востока России**

Показатель	Обследованная группа				Уровень значимости различий между группами (p)					
	0 поколение (1) n=31	1 поколение (2) n=73	2 поколение (3) n=86	Аборигены (4) n=32	1–2	2–3	3–4	1–3	2–4	1–4
Состояние покоя										
САД, мм рт. ст.	125,6±0,9	124,3±0,7*	123,7±0,5*	122,8±1,2*	0.25	0.48	0.59	<0.05	0.34	<0.05
ДАД, мм рт. ст.	76,5±0,8*	74,4±0,6*	74,1±0,6*	73,8±1,2*	<0.05	0.69	0.82	<0.01	0.65	<0.05
ЧСС, уд./мин	75,1±0,8*	71,3±0,7*	70,2±0,8*	68,5±1,2*	<0.001	0.30	0.24	<0.001	<0.05	<0.001
Концентрация CO <sub>2</sub> , %	3,7±0,1*	3,8±0,1*	3,9±0,1*	4,0±0,1*	0.48	0.52	0.55	0.27	0.16	<0.05
Концентрация O <sub>2</sub> , %	16,5±0,1*	16,2±0,1*	16,0±0,1*	16,2±0,2*	<0.05	0.42	0.92	<0.01	0.42	<0.05
НbO <sub>2</sub> , %	98,6±0,1*	98,5±0,0*	98,5±0,1*	98,6±0,1*	0.16	0.46	0.48	0.55	0.23	0.69
Ререспирация										
САД, мм рт. ст.	126,1±2,1	128,4±1,9	128,0±1,9	128,9±2,0	0.42	0.87	0.74	0.48	0.85	0.33
ДАД, мм рт. ст.	86,0±2,4	84,6±2,5	82,9±2,4	86,0±2,1	0.69	0.63	0.34	0.37	0.66	1.00
ЧСС, уд./мин	80,5±0,9	77,6±1,2	75,6±1,1	73,2±1,4	<0.05	0.22	0.15	<0.001	<0.01	<0.05
Концентрация CO <sub>2</sub> , %	7,0±0,1	6,9±0,1	7,0±0,1	6,6±0,2	0.17	0.65	0.32	0.32	0.23	<0.05
Концентрация O <sub>2</sub> , %	12,7±0,1	12,5±0,1	12,5±0,1	13,0±0,2	0.16	0.99	<0.05	0.18	<0.05	0.18
НbO <sub>2</sub> , %	96,5±0,1	95,9±0,2	95,9±0,2	95,8±0,4	<0.001	0.98	0.75	<0.05	0.84	<0.05

Примечание. \* обозначены статистически значимые различия между фоновыми показателями и на пике выполнения пробы



Значения разницы показателей концентрации кислорода, углекислого газа, сатурации артериальной крови между фоновыми величинами и на пике выполнения пробы у юношей с различным сроком проживания в условиях Севера

юношей 0-го поколения, что согласуется с более высокими показателями  $\Delta CO_2$  и  $\Delta O_2$ , представленными на рисунке. На пике ререспирации отмечено значимое снижение показателя сатурации артериальной крови во всех группах, но более выраженная динамика этого показателя в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие была зафиксирована в группе аборигенов.

В табл. 2 представлены показатели кардиоритма

в состоянии покоя и на пике выполнения пробы с ререспирацией у юношей 0-го, 1-го, 2-го поколений и аборигенов, а также уровни значимости их различий (табл. 3). Полученные результаты указывают на то, что в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие у обследуемых всех групп происходит увеличение RMSSD, pNN50, SDNN на фоне снижения Mo, AMo с отсутствием значимой динамики относительно показателей MxDMп и SI. Анализ динамики спектральных характеристик кардиоритма в ответ на функциональную пробу выявил увеличение HF-составляющей спектра во всех группах обследуемых, снижение LF-компонента спектра на фоне снижения VLF во всех группах, кроме юношей-аборигенов. Динамика показателя TP в ответ на ререспирацию также имела различия в зависимости от продолжительности проживания в северных условиях: так, в группе представителей 2-го поколения и аборигенов было отмечено увеличение данного показателя, тогда как у обследуемых из числа представителей 0-го и 1-го поколений аналогичных изменения выявлено не было. Самые высокие показатели индекса централи-

Таблица 2

Показатели кардиоритма в состоянии покоя и на пике пробы с ререспирацией юношей с различными сроками проживания на территории Магаданской области

Показатель	Этап эксперимента					
	Фон	Ререспирация	Значимость различий (p)	Фон	Ререспирация	Значимость различий (p)
	0 поколение, n = 31			1 поколение, n = 73		
MxDMп, мс	332,0 (282,1; 462,3)	375,3 (300,7; 420,8)	0.84	369,5 (300,1; 440,8)	358,7 (292,0; 519,9)	0.22
RMSSD, мс	41,7 (36,0; 56,7)	52,7 (44,5; 68,0)	<0.05	46,4 (34,9; 66,7)	59,4 (42,0; 82,7)	<0.001
pNN50, %	19,2 (12,4; 27,7)	30,4 (22,1; 40,6)	<0.001	21,3 (13,0; 33,1)	35,5 (22,1; 54,1)	<0.01
SDNN, мс	63,3 (47,5; 80,4)	73,4 (61,0; 86,7)	<0.05	70,8 (55,8; 84,4)	72,2 (56,5; 102,9)	<0.01
Mo, мс	823,8 (761,3; 923,0)	772,2 (672,9; 873,3)	<0.001	824,6 (727,5; 924,6)	736,7 (678,9; 825,2)	<0.001
AMo50, мс	32,7 (26,8; 40,4)	28,5 (22,1; 31,2)	<0.01	31,0 (25,7; 39,0)	27,9 (23,3; 33,6)	<0.01
SI, усл. ед.	59,7 (34,0; 83,6)	48,0 (36,6; 68,2)	0.72	48,4 (30,3; 81,2)	46,9 (30,6; 77,0)	0.76
TP, мс <sup>2</sup>	3240,8 (2231,0; 5576,6)	3681,2 (2856,2; 5472,1)	0.69	3772,8 (2465,7; 5700,3)	3962,7 (2368,8; 6600,3)	0.08
HF, мс <sup>2</sup>	698,2 (429,0; 1057,5)	1398,8 (787,9; 2628,4)	<0.001	978,2 (491,4; 1713,8)	2198,9 (1117,2; 3746,6)	<0.001
LF, мс <sup>2</sup>	1274,0 (842,1; 045,0)	1022,1 (753,8; 1336,9)	<0.05	1349,2 (969,2; 1654,0)	1140,3 (554,7; 1688,6)	<0.05
VLF, мс <sup>2</sup>	542,7 (382,4; 710,6)	438,2 (326,0; 679,1)	<0.05	627,6 (434,4; 913,0)	447,6 (185,8; 756,4)	<0.001
IC, усл. ед.	3,2 (1,8; 5,4)	1,4 (0,5; 2,2)	<0.001	2,2 (1,6; 3,8)	0,7 (0,4; 1,2)	<0.001
	2 поколение, n = 86			Аборигены, n = 32		
MxDMп, мс	368,2 (300,5; 447,7)	365,7 (291,5; 523,8)	0.08	349,8 (265,6; 423,5)	368,0 (312,7; 456,0)	0.26
RMSSD, мс	44,6 (34,5; 66,6)	60,9 (42,3; 87,3)	<0.001	46,6 (35,0; 67,6)	57,3 (42,4; 79,4)	<0.001
pNN50, %	21,2 (12,0; 35,7)	39,3 (20,8; 55,5)	<0.001	25,9 (12,9; 43,6)	39,0 (22,6; 50,7)	<0.001
SDNN, мс	68,0 (54,8; 84,6)	74,9 (58,0; 108,1)	<0.001	60,7 (46,7; 78,5)	71,5 (58,9; 96,9)	<0.001
Mo, мс	825,0 (728,5; 951,3)	774,2 (711,2; 875,0)	<0.001	852,2 (741,3; 978,1)	775,8 (698,9; 871,5)	<0.001
AMo50, мс	30,4 (25,5; 39,2)	27,7 (21,6; 33,7)	<0.001	31,5 (25,3; 40,0)	28,7 (21,3; 34,2)	<0.001
SI, усл. ед.	48,4 (30,6; 80,4)	47,2 (27,5; 80,4)	0.44	54,9 (31,5; 101,5)	58,1 (27,4; 76,4)	0.08
TP, мс <sup>2</sup>	3779,0 (2446,1; 5842,4)	4047,9 (2506,7; 7217,2)	<0.001	3009,8 (1758,4; 4714,2)	3624,5 (2551,2; 8134,4)	<0.001
HF, мс <sup>2</sup>	958,1 (492,1; 1738,1)	2312,3 (1035,6; 3772,4)	<0.001	932,3 (507,0; 1746,1)	1684,6 (1020,0; 3445,1)	<0.001
LF, мс <sup>2</sup>	1341,9 (948,5; 1686,8)	1160,0 (562,2; 1782,9)	<0.05	1075,5 (717,4; 1500,1)	845,3 (660,4; 1955,7)	<0.05
VLF, мс <sup>2</sup>	648,4 (409,1; 932,3)	444,2 (205,8; 722,2)	<0.001	429,6 (239,7; 914,0)	414,3 (268,8; 975,4)	0.60
IC, усл. ед.	2,2 (1,4; 3,8)	0,7 (0,4; 1,2)	<0.001	1,9 (1,1; 3,7)	0,9 (0,6; 1,9)	<0.001

Таблица 3

**Показатели уровня значимости различий между изучаемыми группами**

Показатель	Значимость различий между изучаемыми группами (p)					
	1-2	2-3	3-4	1-3	1-4	2-4
Состояние покоя						
MxDMп, мс	0.52	0.81	0.24	<0.05	0.60	0.30
RMSSD, мс	<0.05	0.91	0.93	<0.05	<0.05	0.85
pNN50, %	0.24	0.95	0.63	0.22	<0.05	0.58
SDNN, мс	0.26	0.97	0.12	0.26	0.67	0.13
Mo, мс	0.93	0.69	<0.05	0.65	0.48	0.53
AMo50, мс	0.39	0.69	0.69	0.36	0.77	0.70
SI, усл. ед.	0.54	0.96	0.53	0.47	0.93	0.58
TP, мс <sup>2</sup>	0.33	0.95	0.33	<0.05	0.99	0.39
HF, мс <sup>2</sup>	<0.05	0.87	0.91	<0.05	<0.05	0.91
LF, мс <sup>2</sup>	0.75	0.97	0.95	0.71	0.70	0.97
VLF, мс <sup>2</sup>	0.25	0.94	<0.05	<0.05	0.46	0.22
IC, усл. ед.	0.12	0.82	0.55	<0.05	<0.05	0.45
Ререспирация						
MxDMп, мс	0.51	0.90	0.77	0.40	0.97	0.87
RMSSD, мс	0.32	0.82	0.63	0.23	0.39	0.80
pNN50, %	<0.05	0.80	0.77	<0.05	<0.05	0.99
SDNN, мс	1.00	0.74	0.77	0.76	0.96	0.98
Mo, мс	0.81	0.57	0.62	0.92	0.37	0.36
AMo50, мс	0.86	0.79	0.95	0.50	0.88	0.80
SI, усл. ед.	0.95	0.78	0.93	0.79	0.89	0.90
TP, мс <sup>2</sup>	0.63	0.75	0.75	0.78	0.63	0.96
HF, мс <sup>2</sup>	<0.05	0.83	0.38	<0.05	0.54	0.46
LF, мс <sup>2</sup>	0.94	0.70	0.55	0.69	0.60	0.84
VLF, мс <sup>2</sup>	0.91	0.88	0.43	0.81	0.64	0.50
IC, усл. ед.	<0.05	0.87	0.14	<0.05	0.53	0.10

Примечание. 1 – 0-е поколение; 2 – 1-е поколение; 3 – 2-е поколение; 4 – аборигены.

Таблица 4

**Расчетные индексы, отражающие отношение частоты сердечных сокращений и концентраций O<sub>2</sub> и CO<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе в зависимости от степени адаптированности к условиям Севера**

Расчетный индекс	Группа в зависимости от срока проживания в условиях Северо-Востока России			
	0-е поколение	1-е поколение	2-е поколение	Аборигены
ЧСС фон / концентрация O <sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе на фоне	4,6	4,4	4,3	4,2
ЧСС фон / концентрация CO <sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе на фоне	20,3	18,8	18,0	17,0
ЧСС проба / концентрация O <sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе на пике пробы	6,3	6,2	6,0	5,6
ЧСС проба / концентрация CO <sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе на пике пробы	11,5	11,2	10,8	11,0

зации были выявлены в группе представителей 0-го поколения со значимым снижением в зависимости от увеличения продолжительности проживания в условиях Севера. В табл. 4 представлены расчетные индексы,

отражающие соотношение одного сердечного ритма с потреблением кислорода и выведением углекислого газа. Полученные данные указывают на то, что наименьшими величинами данных расчетных индексов характеризовались юноши из числа аборигенного населения Магаданской области, тогда как самые высокие цифровые значения были зафиксированы у представителей 0-го поколения.

**Обсуждение результатов**

Наше исследование показателей сердечно-сосудистой системы показало, что в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов отмечается снижение артериального давления и частоты сердечных сокращения в состоянии покоя. Полученные результаты согласуются с более ранними нашими исследованиями относительно перестроек морфофункциональных показателей в зависимости от периода проживания в условиях Севера, но величины показателей сердечно-сосудистой системы, полученные в настоящей работе, несколько ниже, чем были представлены нами ранее [16]. Данный факт по большей части связан с тем, что в настоящей работе из выборки исключены симпатотоники и представленные показатели характерны лишь для юношей с вагонормотоническим типом вегетативной регуляции. Необходимо отметить, что при прочих равных условиях весьма информативной, на наш взгляд, оказалась динамика фоновых значений кислорода и углекислого газа в выдыхаемом воздухе в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов. Полученные результаты подтверждают высказанный ранее нами и рядом других исследователей вывод о снижении чувствительности дыхательного центра к высоким значениям углекислоты при адаптации к условиям Севера [17], а также о более эффективном использовании кислорода из вдыхаемого воздуха. Об этом свидетельствует, с одной стороны, значимое увеличение концентрации углекислого газа, а с другой – значимое понижение концентрации кислорода в выдыхаемом воздухе у юношей в ряду от 0-го поколения к группе аборигенов.

Анализ показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа и сатурации артериальной крови, представленный в табл. 1, позволил установить, что на пике проведения ререспирационной пробы значимых межгрупповых отличий по показателям САД и ДАД отмечено не было, что обусловлено отсутствием динамики САД у обследуемых 0-го поколения, а также различной степенью ответной реакции ДАД на ререспирацию, имеющей более значительное увеличение в группе аборигенов. При этом в ответ на пробу отмечалось значимое повышение ЧСС у всех обследуемых с меньшей динамикой в группе аборигенов.

Как показывают результаты исследования (см. рисунки), в ответ на пробу с ререспирацией отмечается более выраженная степень потребления кислорода в группе юношей с наименьшим стажем проживания в условиях Севера (0-е поколение) со снижением данного

показателя к группе аборигенов, о чем свидетельствуют самые высокие показатели  $\Delta O_2$  в 1-й группе и самые низкие у юношей 4-й группы. Аналогичная тенденция отмечена и относительно концентрации углекислого газа, где данная величина в группе представителей 0-го поколения превосходила аналогичную характеристику, выявленную у обследуемых из числа аборигенов. При этом необходимо отметить, что самые низкие значения разницы фон — проба относительно концентрации углекислого газа были зафиксированы в группе юношей-аборигенов (см. рисунок). Учитывая вышеописанные наблюдения, можно говорить о том, что, несмотря на более высокие показатели фоновых значений концентрации  $CO_2$  и низких величин  $O_2$ , которые прямо пропорциональны длительности проживания в условиях Севера, гипоксически-гиперкапническая проба не вызывает столь значительного увеличения концентрации углекислоты и снижения кислорода в выдыхаемом воздухе, что может являться следствием более экономного и эффективного режима метаболического обеспечения на фоне сниженного кислородного запроса организма по мере увеличения степени адаптированности к северным условиям. Необходимо отметить выраженность снижения показателя сатурации артериальной крови в ряду от 0-го поколения к аборигенам, также представленной на рисунке. Исходя из этого, можно предположить, что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газоанализа при анализе разницы фон — проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям Северо-Востока России.

Анализ фоновых величин показателей ВРС (см. табл. 2, 3) выявил значимо более низкие показатели RMSSD в группе 0-го поколения, что отражает сниженную активацию парасимпатической модуляции в состоянии покоя. Представители этой группы также характеризовались более низкими значениями rNN50 относительно группы аборигенов, что также свидетельствует о менее выраженных проявлениях активности парасимпатического звена в регуляции сердечного ритма в состоянии покоя. Необходимо отметить статистически значимо более высокие показатели индекса централизации у представителей 0-го поколения, которые, в свою очередь, свидетельствуют о преобладании центрального контура управления над автономным и в определенной степени о централизации управления ритмом сердца, что отличает эту группу от других. Статистически значимо самые низкие показатели HF-волн в состоянии покоя были зафиксированы у представителей этой же группы. Учитывая более высокие показатели высокочастотного компонента у представителей других групп из числа европеоидов с более продолжительными периодами проживания в северных условиях, а также более выраженную степень увеличения данного показателя в ответ на ререспирацию (степень увеличения которого возрастала в ряду от 0-го к 2-му поколению (в 1-й группе на 100 %, во 2-й на 124 %, в 3-й на 136 %),

можно предположить адаптивную направленность увеличения HF-составляющей спектра при проживании в северных условиях. В настоящее время дыхательные волны (HF) связывают с синусовой аритмией, суть которой состоит в обеспечении оптимальной концентрации газов в крови и оптимизации газообмена при дыхании путем сопоставления перфузии с ЧСС [20, 23, 26]. Эти выводы подтверждаются результатами, полученными при анализе расчетных индексов, отражающих соотношение ЧСС и концентрации  $O_2$  и  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе как в состоянии покоя, так и на пике выполнения ререспираторной пробы (см. табл. 4). Показано, что в ряду от представителей 0-го поколения к группе аборигенов происходит их снижение, цифровые значения их соотносятся как со степенью увеличения HF-составляющей спектра в ответ на пробу, так и с их величинами в состоянии покоя. Полученные данные указывают на снижение расчетных индексов по мере увеличения степени адаптированности к Северу, что свидетельствует о повышении эффективности использования кислорода и выведения углекислого газа в соотношении с каждым сердечным циклом, что прямо пропорционально сопряжено с более высокими значениями высокочастотной компоненты сердечного ритма.

Анализ LF-составляющей спектра ритма сердца не выявил межгрупповых различий в состоянии покоя и на пике пробы, при этом испытуемые характеризовались различной степенью ответной реакции на гипоксически-гиперкапническое воздействие в зависимости от срока адаптации к Северу. Так, в группе представителей 0-го поколения в ответ на пробу с ререспирацией было выявлено снижение низкочастотной составляющей ритма сердца на 19 %, в группе юношей, относящихся к представителям 1-го поколения, — на 15 %, у обследуемых 2-го поколения на — 13 %, а у юношей из числа аборигенов снижение LF-компонента спектра находилось в пределах 21 %.

В настоящее время LF-частоты спектра кардиоритма принято рассматривать как активатор колебаний ритма артериального давления, реализуемого через барорефлекторные механизмы [10]. При повышении артериального давления афферентные импульсы от барорецепторов поступают в кардиоингибиторный и сосудодвигательный центры продолговатого мозга, при этом оказывают тормозное влияние на симпатическую активность и активирующее действие на парасимпатическую модуляцию, что приводит к снижению тонуса симпатических сосудосуживающих волокон и, в свою очередь, обуславливает снижение ЧСС [18]. Исходя из этого уменьшение абсолютной величины LF-компоненты сердечного ритма на пике ререспирации во всех группах обследуемых лиц может отражать снижение импульсации от барорецепторов и свидетельствует об активации вазомоторного тонуса, что, в свою очередь, проявляется увеличением ДАД на пике пробы, в большей степени выраженным в группе аборигенов. Важно отметить, что выявленное

увеличение ДАД прямо пропорционально снижению низкочастотной составляющей ритма. Данные изменения происходят на фоне повышения ЧСС, что может отражать дисфункцию барорефлекторного механизма снижения ЧСС при повышении артериального давления. По большей части это связано с тем, что хеморефлексы играют доминирующую роль в регулировании вентиляционных и сердечно-сосудистых автономных реакций при изменении газового состава крови [21], что является результатом комплексных механизмов взаимодействия между баро- и хеморефлексами, при этом чувствительность артериального барорефлекса обратно пропорциональна чувствительности периферического хеморефлекса [18]. Между тем гиперкапния является основным фактором, влияющим на симпатические модуляции [22]. Исходя из этого можно предположить, что угнетение барорефлекторной регуляции сердечно-сосудистой системы является результатом хеморефлекторной активации в ответ на гипоксически-гиперкапническое воздействие, вследствие которой повышается тонус симпатической нервной системы, что ведет к увеличению артериального давления, а также ЧСС. Здесь необходимо отметить, что обычно механизм повышения частоты пульса при дыхательных пробах рассматривается через гипоксемическую активацию симпатического влияния на сердечную функцию [19, 25].

У обследуемых европеоидов в зависимости от продолжительности проживания на Севере была отмечена и более выраженная тенденция снижения VLF-компонента спектра в ответ на гипоксически-гиперкапническую пробу (1-я группа снижение на 19 %, 2-я — на 30 % и 3-я — на 32 %), что, учитывая интерпретацию данного показателя, может отражать особенности энергетически-метаболический статуса организма [24].

Необходимо подчеркнуть, что в группе обследуемых аборигенов мы не отметили данной тенденции, что может объясняться иными механизмами, обеспечивающими динамику гемодинамических показателей и характеристик газоанализа при проведении пробы с ререспирацией, и, в свою очередь, обуславливать этнические особенности перестроек кардиоритма. Так, именно в этой группе не было отмечено столь выраженного увеличения высокочастотного компонента в ответ на пробу с возвратным дыханием с отсутствием значимой динамики относительно VLF-мощности. Выявленные нами особенности в перестройках кардиоритма в группе аборигенов совпадали со значительным снижением низкочастотной составляющей общего спектра (LF).

При этом менее значительное увеличение HF-составляющей ритма на пике пробы (на 80 %, тогда как в остальных группах оно варьировало от 100 до 136 %), может свидетельствовать о менее выраженной тормозной деятельности парасимпатического звена ВНС.

Таким образом, проведенные исследования выявили ряд моментов, свидетельствующих о различиях в пере-

стройках показателей сердечно-сосудистой системы, газоанализа в зависимости от срока проживания на территории Магаданской области.

В целом проведенный анализ показателей кардиоритма как в состоянии покоя, так и на пике пробы с ререспирацией вывил более низкие показатели ВСР в группе юношей с непродолжительным стажем проживания на Севере (0-е поколение), что может рассматриваться как сниженная активация парасимпатического звена. При этом увеличение активности парасимпатической модуляции на сердечный ритм как в состоянии покоя, так и при динамике в ответ на дыхательную пробу в группе 1-го и 2-го поколений может обуславливать степень адаптированности к северным условиям и являться отражением компенсаторно-приспособительных перестроек вагусной активации, направленной на обеспечение газового гомеостаза при гипоксии и гиперкапнии при увеличении срока проживания на Севере.

Показано, что при выполнении пробы с возвратным дыханием происходит активация автономного контура регуляции, о чем свидетельствует увеличение в спектре сердечного ритма высокочастотной компоненты на фоне снижения LF-составляющей, степень изменения которых прямо пропорциональна степени адаптированности к северным условиям. Данные изменения сопровождаются увеличением RMSSD и pNN50 в ответ на ререспирацию, степень выраженности которой возрастала в ряду от 0-го к 2-му поколению, что однозначно свидетельствует в пользу преобладания парасимпатических влияний на физиологические функции организма, увеличивающихся от продолжительности проживания в условиях Магаданской области. Также отмечено снижение централизации управления ритмом сердца, что проявляется более высокими значениями индекса централизации как в состоянии покоя, так и на пике пробы у юношей 0-го поколения. Необходимо подчеркнуть, что данные изменения характерны лишь для юношей-европеоидов. По-видимому, столь выраженное увеличение активности парасимпатического звена ВНС, и в частности высокочастотной составляющей ритма сердца, является фактором, обеспечивающим оптимальный газообмен при выполнении пробы с ререспирацией, что находит свое подтверждение в снижении показателей  $\Delta\text{CO}_2$ ,  $\Delta\text{O}_2$  в ряду от 0-го ко 2-му поколению европеоидов, а также расчетных индексов, отражающих потребление кислорода (кислородный эффект сердцебиения) и выведения углекислого газа в соотношении с каждым сердечным циклом.

Анализ перестроек показателей кардиоритма, гемодинамики и газоанализа в группе юношей-аборигенов свидетельствует о наличии этнических особенностей в поддержании функционального состояния организма в ответ на гипоксически-гиперкапническую пробу. Об этом свидетельствуют, с одной стороны, наименьшая степень увеличения высокочастотной компоненты кардиоритма, а с другой — выраженное значимое понижение низкочастотной составляющей ритма на

фоне выраженной ответной реакции со стороны показателей гемодинамики. На этнические особенности в перестройках физиологических показателей при ререспирации также указывают значения расчетных индексов газоанализа, наименьшие величины которых были зафиксированы в группе юношей-аборигенов, отражающие эффективность использования кислорода и выведения углекислого газа.

Таким образом, полученные нами данные достаточно наглядно демонстрируют тот факт, что основные характеристики сердечно-сосудистой системы, сатурации артериальной крови и в большей степени величины газообмена при анализе разницы фон — проба могут выступать показателем степени адаптированности к условиям северо-востока России. При этом наиболее специфичными, отражающими различия в перестройках изучаемых систем в ответ на ререспирацию у испытуемых четырех групп являются показатели  $\Delta\text{CO}_2$ ,  $\Delta\text{O}_2$ , а также HF-, LF-, VLF-составляющие вариабельности сердечного ритма.

Работа выполнена за счет бюджетного финансирования НИЦ «Арктика» ДВО РАН.

Аверьянова Инесса Владиславовна — ORCID 0000-0002-4511-6782; SPIN 9402-0363

#### Список литературы

1. Аверьянова И. В., Максимов А. Л. Состояние липидного и углеводного обмена у студентов-аборигенов и европеоидов с различными сроками проживания на территории Магаданской области // *Экология человека*. 2015. № 9. С. 44–49.
2. Агаджанян Н. А., Ермаков Н. В., Куцов Г. М. Эколого-физиологические особенности адаптивных реакций коренного и пришлого населения Эвенкии // *Физиология человека*. 1995. Т. 21, № 3. С. 106–115.
3. Агаджанян Н. А., Чижов А. Я. Гипоксические, гипоксические и гиперкапнические состояния. М.: Медицина, 2003. 96 с.
4. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Чирейкин Л. В., Гаврилушкин А. П., Довгалецкий П. Я., Кукушкин Ю. А., Миронова Т. Ф., Прилуцкий Д. А., Семенов А. В., Федоров В. Ф., Флейшман А. Н., Медведев М. М. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // *Вестник аритмологии*. 2001. № 24. С. 65–83.
5. Боровиков В. *Statistica. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов*. СПб.: Питер, 2003. 688 с.
6. Бурых Э. А., Сороко С. И. Различия в стратегиях и возможностях адаптации человека к гипоксическому воздействию // *Физиология человека*. 2007. Т. 33, № 3. С. 63–74.
7. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // *Медицинская техника*. 2001. № 3. С. 40–44.
8. Еськов В. М., Шатрова О. И., Козлова В. В., Нагорная М. А., Филатов М. А. Состояние показателей функциональных систем организма (ФСО) учащихся представителей народов ханты // *Экологический вестник Югории*. 2005. № 2. С. 64–81.
9. Иванов А. О., Петров В. А., Безкишкий Э. Н., Гудков А. Б., Ерошенко А. Ю., Грошилин С. М. Оценка отдаленных последствий длительного непрерывного пребывания человека в аргоносодержащей гипоксической газовой среде // *Экология человека*. 2017. № 6. С. 9–13.
10. Караваев А. С., Киселев А. Р., Гриднев В. И., Боровкова Е. И., Прохоров М. Д., Посненкова М. Д., Пономаренко В. И., Безручко Б. П., Шварц В. А. Фазовый и частотный захват 0.1 Гц колебаний в ритме сердца и барорефлекторной регуляции артериального давления дыханием с линейно меняющейся частотой у здоровых лиц // *Физиология человека*. 2013. Т. 39, № 3. С. 93–104.
11. Комплекс для анализа вариабельности сердечного ритма «Варикард». Рязань: ЮИМН, 2005. 45 с.
12. Кривошеков С. Г., Балиоз Н. В., Некипелова Н. В., Капилевич Л. В. Возрастные, гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие // *Физиология человека*. 2014. Т. 40, № 6. С. 34–45.
13. Максимов А. Л. Информативность температурных реакций кисти при воздействии на человека гипоксических факторов // *Физиология человека*. 2005. № 3. С. 108–117.
14. Максимов А. Л., Аверьянова И. В. Информативность показателей кардиогемодинамики и вариабельности сердечного ритма у юношей с различным уровнем гипоксически-гиперкапнической устойчивости // *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2014. № 2. С. 90–95.
15. Пономаренко В. И., Гриднев В. И., Прохоров М. Д. Синхронизация сердцебиения и ритма регуляции сосудистого тонуса с дыханием // *Биомедицинские технологии и радиоэлектроника*. 2004. № 8–9. С. 40–51.
16. Суханова И. В., Максимов А. Л., Вдовенко С. И. Особенности адаптации у юношей Магаданской области: морфофункциональные перестройки (сообщение 1) // *Экология человека*. 2013. № 8. С. 3–10.
17. Якименко М. А., Симонова Т. Г., Пичкуров А. М., Татауров Ю. А. Влияние адаптации к холоду на показатели внешнего дыхания при гиперкапнии // *Физиология человека*. 1989. Т. 15, № 5. С. 148–155.
18. Berne R. M., Levy M. N. *Cardiovascular physiology*. Mosby-Year Book: Inc., St. Louis, 1997. 323 p.
19. Burtscher M., Mairer K., Wille M. Short term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? // *Sleep Breath*. 2012. N 2. P. 435.
20. Hirsch J. A., Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate // *Am. J. Physiol. Heart Circulatory Physiol*. 1981. Vol. 241, N 4. P. 620–629.
21. Lugliani B. J., Seard C. W., Wasserman K. Effect of bilateral carotid-body resection on ventilatory control at rest and during exercise in man // *N. Engl. J. Med*. 1971. N 285. P. 1105–1111.
22. Ponikowski P., Chua T. P., Piepoli M., Ondusova D., Webb-Peploe K., Harrington D., Anker S. D., Volterrani M., Colombo R., Mazzuero G., Giordano A., Coats A. J. S. Augmented peripheral chemosensitivity as a potential input to baroreflex impairment and autonomic imbalance in chronic heart failure // *Circulation*. 1997. N 96. P. 2586–2594.
23. Shamailov B. T., Paton J. Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency // *J. Physiol*. 2012. N 590 (8). P. 1989–2008.
24. Stein P. K., Bosner M., Kleiger R. E., Conger E. M. Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone // *Am Heart J*. 1994. N 127. P. 1376–1381.

25. Steinback C. D., Salzer D., Medeiros P. J., Kowalchuk J., Shoemaker J. K. Hypercapnic vs. hypoxic control of cardiovascular, cardiovagal, and sympathetic function // *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009. N 2. P. 398–402.

26. Yasuma F., Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeatsynchronize with respiratory rhythm? // *Chest J.* 2004. N 125 (2). P. 683–690.

### References

1. Averyanova I. V., Maksimov A. L. Lipid and carbohydrate metabolism observed in aboriginal and european students having different terms of residing in territory of Magadan region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2015, 9, pp. 44-49. [In Russian]

2. Agadzhanian N. A., Ermakov N. V., Kutsov G. M. Ecological and physiological features of adaptive reactions of indigenous and alien population of Evenkia. *Fiziologiya cheloveka.* 1995, 21 (3), pp. 106-115. [In Russian]

3. Agadzhanian N. A., Chizhov A. Ya. Hypoxia, hypocapnia and hypercapnia states: study guide. Moscow, Meditsina Publ., 2003, 96 p. [In Russian]

4. Baevskiy R. M., Ivanov G. G., Chireykin L. V., Gavrilushkin A. P., Dovgalevskiy P. Ya., Kukushkin Yu. A., Mironova T. F., Prilutskiy D. A., Semenov A. V., Fedorov V. F., Fleishman A. N., Medvedev M. M. Analysis of heart rate variability when using different electrocardiographic systems (methodical recommendations. *Vestnik aritmologii* [Arrhythmology Bulletin]. 2001, 24, pp. 65-83. [In Russian]

5. Borovikov V. *Statistica. The art of analyzing data on a computer: for professionals.* Saint Petersburg, Piter Publ., 2003, 688 p. [In Russian]

6. Burykh E. A., Soroko S. I. Differences in the strategies and potentials of human adaptation to hypoxia. *Fiziologiya cheloveka.* 2007, 33 (3), pp. 309-319. [In Russian]

7. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvina L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and the specific features of heart rhythm regulation under the influence of occupational activities. *Meditsinskaya Tekhnika.* 2001, 3, pp. 40-44. [In Russian]

8. Eskov V. M., Shatrova O. I., Kozlova V. V., Nagornaya M. A., Filatov M. A. State of functional state indices in students representatives of the people of Khanty. *Ekologicheskiy vestnik Yugorii* [Ecological Bulletin Ugoria]. 2005, 2, pp. 64-81. [In Russian]

9. Ivanov A. O., Petrov V. A., Bezkishkiy E. N., Gudkov A. B., Eroshenko A. Yu., Groshilin S. M. Evaluation of the long-term effects of human's continuous stay in the argon containing hypoxic gaseous environment. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 6, pp. 9-13. [In Russian]

10. Karavaev A. S., Kiselev A. R., Gridnev V. I., Borovkova E. I., Prokhorov M. D., Posnenkova O. M., Ponomarenko V. I., Bezruchko B. P., Shvartz V. A. Phase and Frequency Locking of 0.1 Hz Oscillations in Heart Rhythm and Baroreflex Control of Arterial Pressure by Respiration with Linearly Varying Frequency in Healthy Subjects. *Fiziologiya cheloveka.* 2013, 39 (3), pp. 93-104. [In Russian]

11. *Komplex dlya analiza variabelnosti serdechnogo ritma "Varikard"* [The "Varicard" complex unit for heart rate variability analysis]. Ryazan, 2005, 45 p.

12. Krivoshechekov S. G., Balioz N. V., Nekipelova N. V., Kapilevich L. V. Age, gender, and individually-typological features of reaction to sharp hypoxic influence. *Fiziologiya cheloveka.* 2014, 40 (6), pp. 34-45. [In Russian]

13. Maximov A. L. Informative value of human hand

temperature reactions under hypoxia factors. *Fiziologiya cheloveka.* 2005, 3, pp. 108-117. [In Russian]

14. Maximov A. L., Averyanova I. V. Informative value of cardiohemodynamics and heart rate variability indices observed in young males with different levels of hypoxia-hypercapnia resistance. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* [Ulyanovsk medico-biological journal]. 2014, 2, pp. 90-95. [In Russian]

15. Ponomarenko V. I., Gridnev V. I., Prokhorov M. D. Synchronization of heartbeat and rhythm of vascular tone regulation with breathing. *Biomeditsinskiye tekhnologii i radioelektronika* [Biomedical technologies and radioelectronics]. 2004, 8-9, pp. 40-51. [In Russian]

16. Sukhanova I. V., Maximov A. L., Vdovenko S. I. Peculiarities of adaptation observed in young male residents of Magadan region: morphofunctional changes (report 1). *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2013, 8, pp. 3-10. [In Russian]

17. Yakimenko M. A., Simonova T. G., Pichkurov A. M., Tataurov Yu. A. The effect of adaptation to cold on the indicators of external respiration during hypercapnia. *Fiziologiya cheloveka.* 1989, 15 (5), pp. 148-155. [In Russian]

18. Berne R. M., Levy M. N. *Cardiovascular physiology.* Mosby-Year Book, Inc., St. Louis, 1997, 323 p.

19. Burtscher M., Mairer K., Wille M. Short term exposure to hypoxia for work and leisure activities in health and disease: which level of hypoxia is safe? *Sleep Breath.* 2012, 2, p. 435.

20. Hirsch J. A., Bishop B. Respiratory sinus arrhythmia in humans: how breathing pattern modulates heart rate. *Am. J. Physiol. Heart Circulatory Physiol.* 1981, 241 (4), pp. 620-629.

21. Lugliani B. J., Seard C. W., Wasserman K. Effect of bilateral carotid-body resection on ventilatory control at rest and during exercise in man. *N. Engl. J. Med.* 1971, 285, pp. 1105-1111.

22. Ponikowski P., Chua T. P., Piepoli M., Ondusova D., Webb-Peploe K., Harrington D., Anker S. D., Volterrani M., Colombo R., Mazzuero G., Giordano A., Coats A. J. S. Augmented peripheral chemosensitivity as a potential input to baroreflex impairment and autonomic imbalance in chronic heart failure. *Circulation.* 1997, 96, pp. 2586-2594.

23. Shamailov B. T., Paton J. Evaluating the physiological significance of respiratory sinus arrhythmia: looking beyond ventilation-perfusion efficiency. *J. Physiol.* 2012, 590 (8), pp. 1989-2008.

24. Stein P. K., Bosner M., Kleiger R. E., Conger E. M. Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J.* 1994, 127, pp. 1376-1381.

25. Steinback C. D., Salzer D., Medeiros P. J., Kowalchuk J., Shoemaker J. K. Hypercapnic vs. hypoxic control of cardiovascular, cardiovagal, and sympathetic function. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 2009, 2, pp. 398-402.

26. Yasuma F., Hayano J. Respiratory sinus arrhythmia: why does the heartbeatsynchronize with respiratory rhythm? *Chest J.* 2004, 125 (2), pp. 683-690.

### Контактная информация:

Аверьянова Инесса Владиславовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии экстремальных состояний ФГБУН «Научно-исследовательский центр «Арктика» Дальневосточного отделения Российской академии наук»

Адрес: 685000, г. Магадан, ул. Карла Маркса, д. 24

E-mail: Inessa1382@mail.ru